

Со Мин Ту

**Физико-геологические модели золоторудных и олововольфрамовых месторождений Союза Мьянма (на примере месторождений Кьяукпахто, Мочи и Канбаук)**

Специальность: 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2010

Работа выполнена на кафедре Ядерно-радиометрических методов и геофизических исследований скважин Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе, Москва

Научный руководитель: Бондаренко Владимир Михайлович,  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Игнатов Петр Алексеевич, доктор  
геолого-минералогических наук,  
профессор (РГГРУ)

Иванов Андрей Александрович,  
кандидат геолого-минералогических  
наук (ГЕОТЕХ)

Ведущее предприятие: ГНЦ РФ “ВНИИгеосистем”

Защита состоится 24 июня 2010 г. в 12:00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.121.04 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе по адресу 117997, Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, в аудитории 553

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго орджоникидзе

Автореферат разослан 21 мая 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент

Бобков А.И.

**Актуальность работы.** Минеральные запасы Союза Мьянма хотя и находятся на мировом уровне по таким металлам, как олово, вольфрам, свинец, цинк, серебро, драгоценные и поделочные камни, геологические перспективы и минеральный потенциал остаются недостаточно известными и понятыми.

В целом по Союзу Мьянма перспективными являются поиски и разведка олововольфрамовых месторождений (коренных и россыпных), полиметаллических (свинец, цинк, серебро), коренных месторождений сурьмы, меднопорфировых, месторождений золота (коренных и россыпных), никеля, хромита и платиновой группы полезных ископаемых (коренных и россыпных), месторождений драгоценных камней (рубин, сапфир) и углеводородов в акватории области Уакайн и залива Танинтайн.

В настоящее время минеральный сектор занимает третье место в стране наряду с сельским хозяйством и лесоводством. Предусматривается в будущем существенно увеличить вклад минерального сектора в экономику страны.

В связи с указанным на перспективных площадях проектируется интенсификация геологоразведочных работ с целью поисков новых месторождений полезных ископаемых, в том числе олововольфрамовых и месторождений золота. В решении этой проблемы одними из ведущих являются геофизические методы. Выбор же комплекса геофизических методов для поиска данного типа месторождений базируется на физико-геологическом моделировании. Основы физико-геологического моделирования и принципы комплексирования геофизических методов были заложены в работах А. Г. Тархова, Г. С. Вахромеева, В. М. Бондаренко, Г. П. Новицкого, А. А. Никитина, В. К. Хмелевского и других. Союз Мьянма занимал ведущие позиции в мире и юго-восточной Азии по запасам и добыче вольфрама и олова. В настоящее время эти позиции в определенной степени утрачены, поэтому предполагается возобновить поиски этих типов месторождений. Месторождения золота во всех странах представляют собой источник валютных запасов, поэтому их поиски всегда актуальны.

**Цель работы** – создать физико-геологические модели олововольфрамовых месторождений на примере коренного месторождения Мочи и россыпного Канбаук и коренного месторождения золота Кьяукпахто.

**Задачи исследования :**

1. Изучить геолого-структурные особенности указанных типов месторождений.
2. Обобщить и систематизировать информацию о физических и ядерно-физических свойствах рудных залежей и вмещающих пород указанных месторождений.
3. Создать физико-геологические модели олововольфрамовых месторождений и коренного месторождения золота.
4. На основе литолого-структурных особенностей месторождений олова и вольфрама и золота и дифференциации по физическим свойствам пород и рудных залежей предложить комплекс геофизических методов для поисков и разведки указанных типов месторождений.

**Научная новизна**

1. Известные типы физико-геологических моделей обобщены в виде классификационного дерева.
2. Обобщен опыт применения геофизических методов для поисков и разведки олова и вольфрама и золота на территориях Российской Федерации и Союза Мьянма.
3. Составлены физико-геологические модели коренного и россыпного олововольфрамовых месторождений и коренного месторождения золота.
4. Анализ геолого-структурных особенностей и физических свойств месторождений олова и вольфрама и золота позволил обосновать типов комплекс геофизических методов для поисков и разведки указанных месторождений.

**Практическая значимость**

Технология составления физико-геологических моделей месторождений олова и вольфрама и золота может быть использована для создания физико-геологических моделей других типов месторождений полезных ископаемых и выбора соответствующих комплексов геофизических методов для их поисков и разведки.

**Защищаемые положения**

1. Обобщены физико-геологические модели в виде иерархической классификации и усложнения моделей от априорной к апостериорной и от двухальтернативной к динамической, а также опыт физико-геологического моделирования и применения комплексов геофизических методов для поисков и разведки месторождений золота,

олова и вольфрама не только на территории Российской Федерации, но и Союза Мьянма.

2. Впервые для геологических условий Союза Мьянма составлены физико-геологические модели коренного золоторудного месторождения Кьяукпахто и олововольфрамовых месторождений Мочи (коренного) и Канбаук (россыпного) на основе фактической информации о литолого-структурных особенностях этих месторождений и априорной об их физических и ядерно-физических свойствах.

3. Предложены и обоснованы комплексы геофизических методов для поисков и разведки золоторудных и олововольфрамовых месторождений типа Кьяукпахто, Мочи и Канбаук в геологических условиях Союза Мьянма, включающие пьезоэлектрический метод, модификации электроразведки, гравиразведку, магниторазведку и методы ядерной геофизики.

#### **Личный вклад автора**

Непосредственное участие в работе над диссертацией автор принимает с 2006 года. При подготовке материалов, послуживших основой настоящей работы, вклад автора заключался в следующем:

1. Получение информации о геологическом строении Союза Мьянма в целом и геолого-структурных особенностях отдельных месторождений золота, олова и вольфрама; перевод этой информации с английского и мьямского языков на русский.

2. Выполнение физико-геологического моделирования конкретных месторождений Союза Мьянма.

3. Обоснование и выбор комплекса геофизических методов для поиска и разведки конкретных генетических типов месторождений золота, олова и вольфрама.

4. Обобщение типов физико-геологических моделей в виде их иерархической классификации.

#### **Апробация работы**

Основные положения и результаты работы докладывались на конференции РГГРУ “Молодые – наукам о Земле – 2010”.

#### **Публикации**

Основные результаты диссертации опубликованы в одной научной статье , в

журнале “Геология и разведка”, входящего в список реферируемых журналов, рекомендованных ВАК.

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения общим объемом 103 страницы, включая 32 рисунка и 11 таблиц. Список литературы включает 58 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность профессору, доктору технических наук В.М. Бондаренко за научное руководство, внимание и содействие в подготовке и написании диссертации. Автор искренне благодарен доктору Яй Мьит Шве, инженеру Тин Мьит У, которые помогли в получении необходимого геологического материала.

### **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность работы, а также защищаемые положения.

**В первой главе «Геология Союза Мьянмы»** описаны стратиграфия и литология горных пород Союза Мьянмы, магматизм, тектонические особенности и полезные ископаемые. Современные геологические, петрологические и геохимические данные свидетельствуют о том, что месторождения Sn-W в центральном поясе связаны в основном с гранодиоритами и гранитами, которые часто преобразованы в гранитные гнейсы. Тектонические провинции Союза Мьянмы включают Шан-Тенассеримский блок, центральный кайнозойский пояс, западный складчатый пояс, ракхайнскую прибрежную полосу. Эти провинции различаются по литологии, геологической структуре и геологическому возрасту. Полезные ископаемые представлены месторождениями нефти, природного газа, каменного угля, руд никеля, вольфрама, олова, меди, свинца, цинка, железа, сурьмы, золота, драгоценных и поделочных камней, лучшего в мире рубина и благородного жадеита, барита, соли и др.

**Во второй главе «Основы физико-геологического моделирования»** приводятся основные понятия и определения, используемые в комплексировании геофизических методов. В частности, сформулировано понятие физико-геологической

модели и приведена классификация ФГМ. Здесь же дается определение физических свойств горных пород, нормального (фонового) и аномального геофизических полей.

**В третьей главе «Опыт применения геофизических методов на стадиях поисков и разведки золоторудных и олововольфрамовых месторождений»** сформулированы поисково-разведочные задачи и приведены обобщенные комплексы геофизических методов, применяемые для решения этих задач в Российской Федерации для двух типов месторождений – золоторудных и олововольфрамовых, а также применение методов разведочной геофизики на территории Мьянма на тех же типах месторождений.

**В четвёртой главе «Физико-геологические модели золоторудных и олововольфрамовых месторождений Союза Мьянмы»** представлены физико-геологические модели коренного золоторудного месторождения Кьяукпахто и олововольфрамовых месторождений Мочи (коренного) и Канбаук (россыпного) в виде геологических разрезов и физических и ядерно-физических табулированных свойств пород и руд, характерных для этих месторождений.

**В пятой главе «Комплексы геофизических методов на стадиях поисков и разведки золоторудных месторождений типа Кьяукпахто и олововольфрамовых месторождений типа Мочи и Канбаук»** приведены геофизические комплексы для поисков и разведки указанных типов месторождений, полученные в результате анализа составленных физико-геологических моделей. Даются ожидаемые аномалии пьезоэлектрического, радонового и гравитационного полей от типичных особенностей полученных физико-геологических моделей.

**В «Заключении»** сделаны основные выводы по работе и намечены перспективы будущих исследований.

## **ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ**

В работе защищаются три основных положения.

***Первое защищаемое положение.*** *Обобщены физико-геологические модели в виде иерархической классификации и усложнения моделей от априорной к апостериорной и от двухальтернативной к динамической, а также опыт физико-*

*геологического моделирования и применения комплексов геофизических методов для поисков и разведки месторождений золота, олова и вольфрама не только на территории Российской Федерации, но и Союза Мьянма.*

Физико-геологическая модель (ФГМ) – это обобщенное, но субъективное представление о реальном геологическом объекте, включающее информацию о физических свойствах, морфологии, элементах залегания, литологических и структурных особенностях, геодинамике, возрасте и геофизических полях.

В разведочной геофизике под термином “физические свойства горных пород” понимают их физическое состояние, химический состав и протекающие в них физико-химические процессы, приводящие к генерации собственных физических полей либо к изменению параметров искусственно созданных физических полей.

Многообразие решаемых задач геологоразведки, а также наличие объёма и качества информации привели к многообразию типов ФГМ (рис. 1). Выделяют два основных типа ФГМ – априорные (до опыта), т.е. модели, которые созданы на основе литературных источников (публикации, справочники, отчёты) с о свойствами аналогичными изучаемым объектам; и апостериорные, т.е. ФГМ, построенные после проведения опытных или производственных полевых работ на исследуемом объекте и предназначенные для уточнения используемого комплекса геофизических методов и формирования геофизического комплекса следующей стадии геологоразведки.

Двуальтернативные модели используются для ответа на вопрос “да” – “нет”, например, руда – “пустая” порода, углеводородная структура – непродуктивная структура и так далее.

Многоальтернативные модели строят для структурно-литологического картирования (например, различные литологические разности пород могут обладать одинаковой магнитной восприимчивостью, плотностью или удельным электрическим сопротивлением) либо при общих поисках различных месторождений масштаба 1:50000÷1:25000.

В детерминированных моделях расчет геофизических полей производится по уравнениям математической физики с жестким заданием физических свойств и морфологических параметров модели.

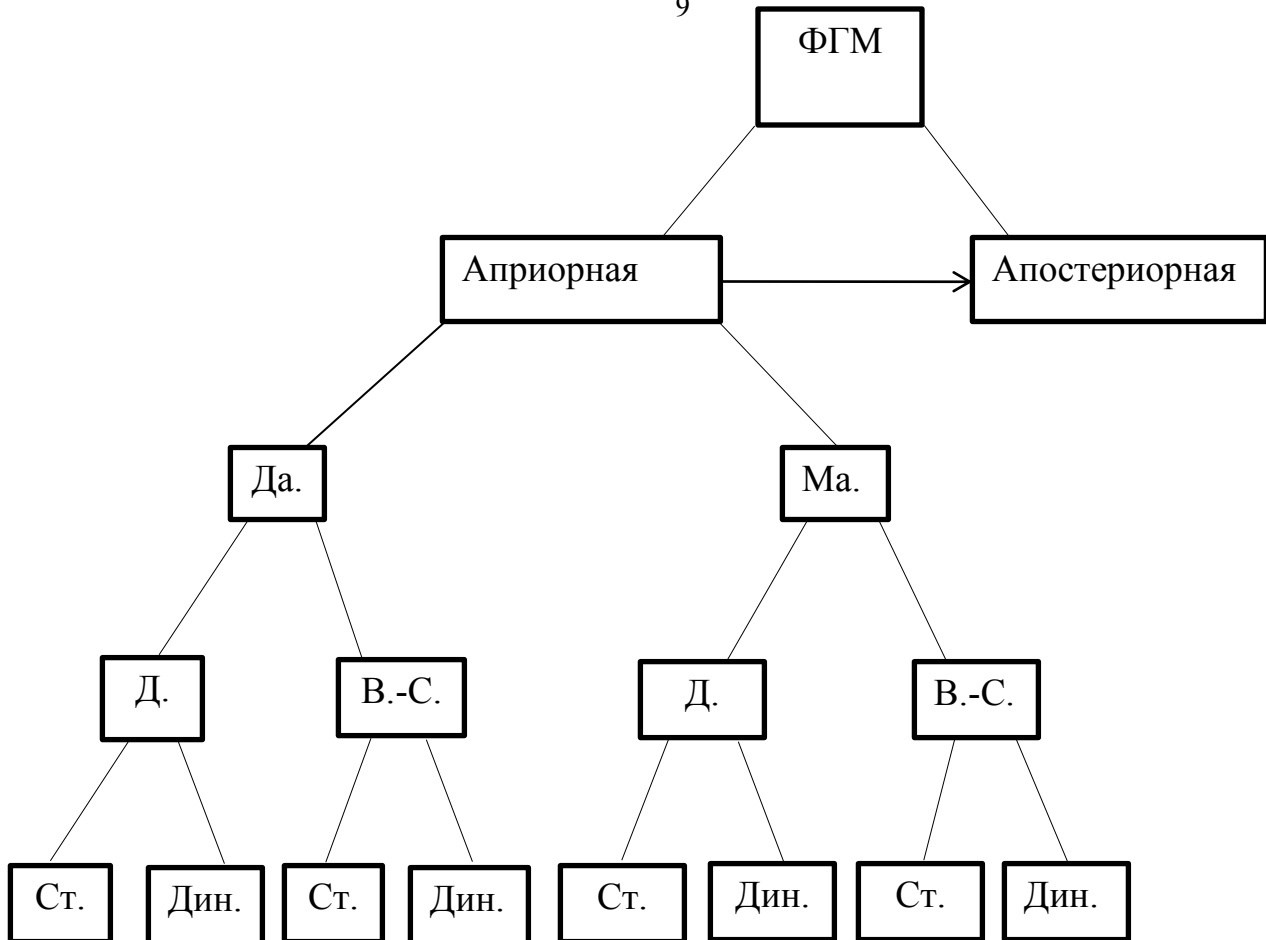


Рис.1. Типы физико-геологических моделей (ФГМ) (Со Мин Ту, 2009). Да. – двухальтернативная, Ма. – многоальтернативная, Д. – детерминированная, В.-С. – вероятностно-статистическая, Ст. – статическая, Дин. – динамическая

Вероятностно-статистические модели создаются с учётом вероятностного распределения физических параметров и элементов залегания. Статические модели фиксируют состояние геологического объекта (физические свойства, морфология) в определенный момент времени.

Динамическая модель отражает изменение геологического объекта (физических свойств, литолого-структурных особенностей, морфологии) в течение времени. Эти модели имеют важное значение при прогнозировании геодинамических явлений (землетрясений, оползневых процессов, цунами и т.п.) и является наиболее сложными.

Расчёт геофизических полей, создаваемых ФГМ, выполняют, исходя из предположения, что в геофизике измеряют суммарный сигнал

$$S_{\Sigma} = S_{н.п} + S_{а.п} + S_{п},$$

где  $S_{н.п}$  - нормальное (фоновое) геофизическое поле,  $S_{а.п}$  - аномальное поле (геофизическая аномалия),  $S_{п}$  - сигнал, формируемый природными и техногенными источниками помех.

Нормальное поле – понятие относительное: за его величину принимают геофизические поля геологических объектов, не являющихся предметом исследований на данной стадии геологоразведочного процесса на изучаемой площади.

Геофизическая аномалия – отклонение геофизического поля от нормального. Источниками помех природного происхождения могут являться, например, временные вариации геофизических полей, рыхлые (четвертичные) отложения, рельеф местности, а техногенных – аппаратурно-методические погрешности измерений, технические источники электромагнитных полей, выбраций и др.

В Российской Федерации на основе результатов геолого-геофизических исследований масштаба 1:200000 в районах золоторудных проявлений вулканогенно-гидротермального типа проводятся следующие поисково-разведочные работы.

Общие поиски масштаба 1:50000 выполняют для изучения строения рудоконтролирующих вулкано-тектонических структур; картирования зон гидротермального изменения пород.

Детальные поиски масштаб 1:10000 ÷ 1:5000 применяют для картирования зон гидротермально измененных пород, кварцевых жил, разрывных нарушений и даек.

Поисково-оценочные работы масштаба 1:2000 выполняют с целью картирования рудных тел, уточнения границ гидротермальных зон, картирования даек и разрывных нарушений.

На стадии разведки месторождений для выделения кварцевых жил, зон окварцевания и рудных интервалов в скважинах в межскважинных и межвыработочных пространствах применяют различные модификации каротажа (гамма-спектрометрический, кажущихся сопротивлений, естественного электрического поля) и метод радиоволнового просвечивания.

В районах развития глубинных плутогенных золоторудных проявлений типа сульфидно-прожилково-вкрапленных зон в терригенных толщах геофизические методы применяют для решения следующих поисково-разведочных задач.

На стадии общих поисков масштабов  $1:50000 \div 25000$  комплекс геофизических методов используют для картирования рудоконтролирующих гранитоидных интрузий, зон гидротермального изменения пород, разрывных нарушений с изучением элементов их залегания.

Геофизические методы при детальном поиске масштаба  $1:10000 \div 1:5000$  направлены на картирование зон гидротермального изменения пород, малых интрузий и даек, поиски и прослеживание сульфидных прожилково-вкрапленных рудных тел.

Геофизические работы на стадии поисково-оценочных работ проводятся для поисков и прослеживания кварцевых жил, уточнения зон рудоконтролирующих разрывных дислокаций, обнаружения участков гидротермального изменения пород и интервалов с сульфидным прожилково-вкрапленным оруденением.

На стадии разведки месторождений для исследования стенок скважин и пространства между скважинами и горными выработками применяют различные модификации каротажа (кажущихся сопротивлений, электродных потенциалов, естественных и вызванных потенциалов, гамма-каротаж), пьезоэлектрический метод и радиоволновое провечивание.

Сравнение геофизических комплексов, используемых для поисков и разведки золоторудных месторождений, показывает, что более благоприятными для применения геофизических методов являются плутоногенные гидротермальные месторождения (табл. 1). Геофизический комплекс для этого типа месторождений обогащен сейсморазведной, методом вызванной поляризации, методом частичного извлечения металлов и пьезоэлектрическим.

Геофизические работы в Союзе Мьянма проводились на золотосульфидном месторождении Шве Мо Хтай и плутоно – вулканическом месторождении золота Кьяукпахто.

Комплекс геофизических методов на этом месторождении включал различные модификации электроразведки – сверхдлинноволновый вариант метода радиокип, низкочастотный индуктивный метод и метод естественных потенциалов. Все три метода дали аномалии на известных рудных зонах.

Таблица 1. Геофизические комплексы, применяемые для поисков и разведки золоторудных месторождений Российской Федерации (Со Мин Ту, 2009)

Стадия	Масштаб	Геофизические комплексы	
		Вулканогенные гидротермальные месторождения	Плутогенные гидротермальные месторождения
Общие поиски	1:50000 ÷ 1:25000	Аэромагнитогравиразведка, аэрогамма-спектрометрия, частотное зондирование	Аэро и наземная электрора-зведка, аэрогамма спектро-метрия, гравиразведка, маг-ниторазведка, сейсморазве-дка
Детальные поиски	1:10000 ÷ 1:5000	Магниторазведка, гамма-спектрометрия, электроразведка	Электроразведка (СЭП, СГ, ВП, ЕП), метод частичного извлечения металлов
Поисково – оценочные работы	1:2000	Электроразведка, магниторазведка, гамма-спектрометрия	Пьезоэлектрический метод, магниторазведка, электроразведка (электропрофилирование, ВП)
Разведка		Каротаж скважин (гамма-спектрометрия, кажущихся сопротивлений, собственной поляризации), метод радиоволнового просвечивания	Каротаж скважин (КС, МЭП, ПС, ВП, ГК), пьезоэлектрический метод, радиоволновое просвечивание

Аэрогеофизические съемки масштаба 1:400000, проведенные в районе золоторудного месторождения Кьяукпахто и включающие аэромагнитную, аэрорадиометрическую (K, Th, U) и спутниковые снимки, использовались в комплексе с известной геологией для лучшего понимания геологических объектов, расположенных вдоль зоны разлома Сикайнг между 23 ° и 24 ° северной широты.

Руды промышленных типов месторождений олова и вольфрама таких как пегматитовые, грейзеновые, гидротермальные и скарновые зачастую бывают комплексные, в том числе и Sn-W, поэтому геофизические методы и решаемые ими задачи будут рассмотрены применительно к этим типам месторождений.

Геофизические методы при поисковых работах масштабов 1:50000 ÷ 1:25000 привлекают для выявления рудоконтролирующих структур, картирования интрузивных образований, выявления гидротермально измененных пород, изучения литологии пород.

На стадии детальных поисков масштабов 1:10000 ÷ 1:5000 комплексы геофизических методов применяют для выявления и детализации перспективных рудопроявлений, картирования разрывной тектоники, зон гидротермально измененных пород и отдельных рудных тел.

На стадиях поисково-оценочных работ и разведки геофизические методы используют главным образом в скважинных и шахтных модификациях для литологического расчленения разреза; уточнения мощности и элементов залегания рудных тел, количественного определения содержаний олова, вольфрама и других рудных элементов.

При поисках россыпных месторождений геофизические исследования проводят для картирования коренных пород, выявления и определения параметров древних долин.

Комплексы геофизических методов, применяемые для решения геологических задач на указанных стадиях поисков и разведки олововольфрамовых месторождений, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Комплексы геофизических методов для поисков и разведки комплексных олововольфрамовых месторождений Российской Федерации (Со Мин Ту, 2009)

Стадия	Масштаб	Геофизические комплексы
Общие поиски	1:50000 ÷ 1:25000	Гравиразведка, аэро- и наземная магниторазведка, аэрогамма-спектрометрия, электроразведка в модификациях естественного поля, вызванной поляризации, метода переходных процессов, дипольного электромагнитного профилирования и метода длинного кабеля
Детальные поиски	1:10000 ÷ 1:5000	Гравиразведка, магниторазведка, электроразведка в модификациях комбинированного и дипольного электропрофилирования, естественного электрического поля и вызванной поляризации, рентгено-радиометрический метод по вторичным ореолам рассеяния
Поисково-оценочные и разведки	1 ÷ 2000 и крупнее	Методы исследования скважин, включающие каротаж сопротивлений, поляризации собственной, гамма- и гамма-гамма-плотностной каротажи, рентгено-радиометрический каротаж, кавернометрию и инклинометрию
Россыпные месторождения	1:10000 ÷ 1:5000	Электроразведка в модификациях вертикального электрического зондирования, двухгоризонтного симметричного профилирования, гравиразведка, магниторазведка

**Второе защищаемое положение. Впервые для геологических условий Союза Мьянма составлены физико-геологические модели коренного золоторудного месторождения Кьяукпахто и олововольфрамовых месторождений Мочи (коренного) и Канбаук (россыпного) на основе фактической информации о литолого-структурных особенностях этих месторождений и априорной об их физических и ядерно-физических свойствах.**

Золоторудного месторождения район Кьяукпахто находится в зоне активного, глубоко - залегающего разлома Сикайн, протягивающегося в направлении север-юг вдоль восточной окраины центральной равнины которая простирается на 1000 км по всей стране. Основные элементы разлома Сикайнг находятся примерно в 5 км к востоку от рудника Кьяукпахто.

Золотая минерализация в основном ограничена разломами растяжения ССВ-ЮЮЗ направления. Эта зона разломов, по видимому, была ответственной за золотую минерализацию. Непосредственно вблизи месторождения Кьяукпахто формация Мале представлена главным образом песчаниками, алевролитами, аргиллитами и сланцами.

Текстура и состав первичных вмещающих пород полностью изменены интенсивным гидротермальным процессом (главным образом окварцеванием), с чем и связана золотая минерализация.

Область окварцевания более обширна чем любое другое изменение и является существенной основой для золотой минерализации в руднике Кьяукпахто (рис. 2). Однако содержание золота не коррелируют непосредственно со степенью силикатизации. Кремний находится в песчанике как скрытокристаллический цемент, заполняя также открытое пространство пустот и прожилков.

Золотая минерализация главным образом ограничена окварцованным песчаником, а золотоносные кварцевые жилы редко встречаются в чрезвычайно плотным алевролите и аргиллите формации Мале. Золотосодержащие кварцевые жилы формируют шток породы, тогда как золотая минерализация распространена всюду по окварцованному песчанику. Обычно золото находится в ограниченных зонах брекчии, как спорадически высококачественная руда (иногда >1000 г/т), расположенных в силикатных массивных блоках окварцованного песчаника.

Рудными минералами золотого месторождения Кьяукпахто являются пирит, арсенопирит и халькопирит с незначительным количеством других сульфидов.

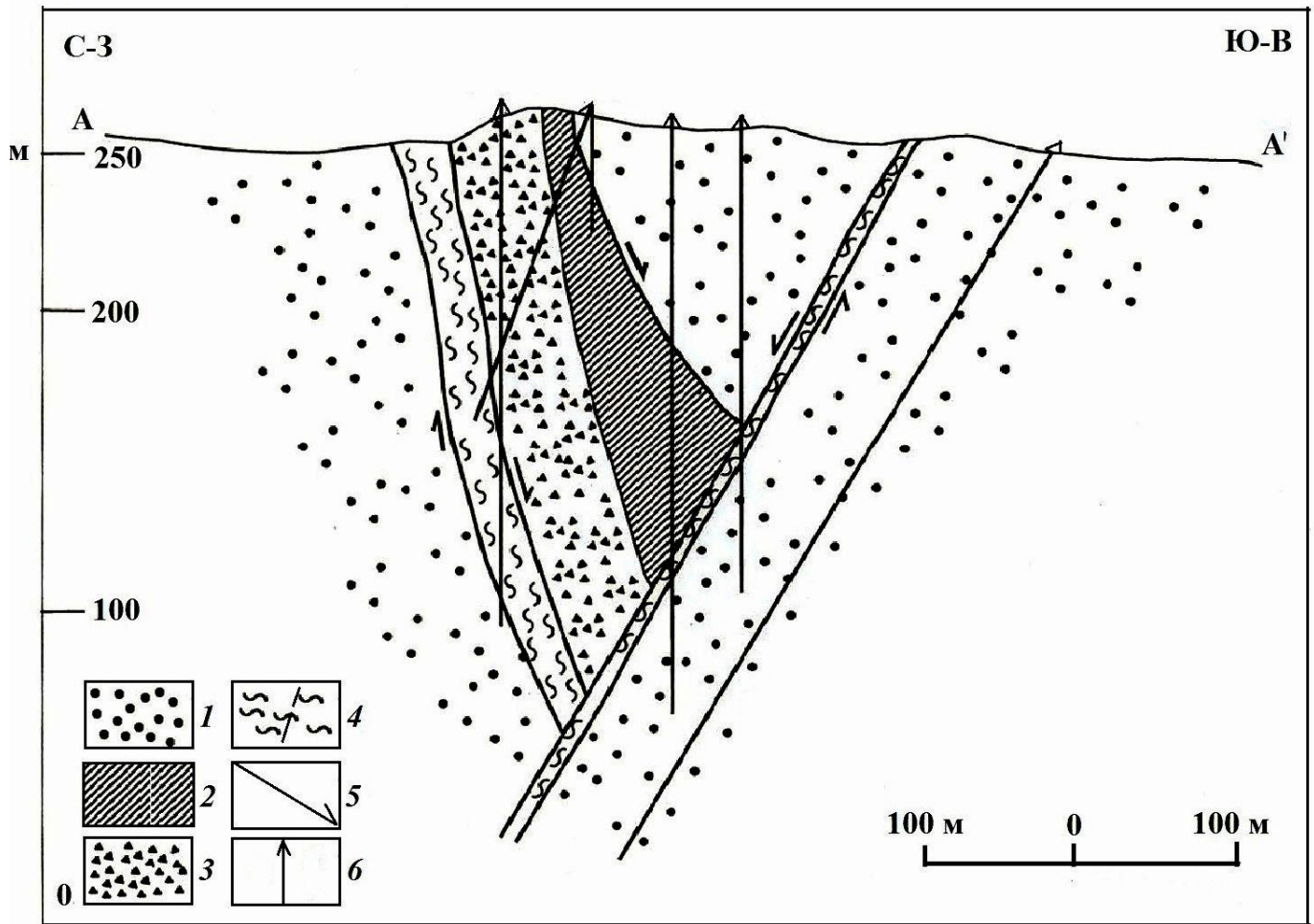


Рис. 2. Геологический разрез золоторудного месторождения Кьяукпахто (Яй Мьит Шве, 1991). 1 – песчаник, 2 – окварцеванный песчаник с кварцевыми прожилками ( $2\div 4$  г/т Au), 3 – окварцеванная брекчия ( $5\div 8$  г/т Au), 4 – рассланцованный аргиллит вдоль разлома, 5 – направление сброса, 6 – разведочные скважины

Рудные образцы из карьера и примыкающих неизменных песчаников района Мале были проанализированы для определения геохимических особенностей золотой минерализации и уровня концентрации химических элементов в карьере Кьяукпахто. Результаты показывают, что минерализованная зона рудника Кьяукпахто характеризуется аномальными концентрациями золота, серебра, меди, сурьмы и мышьяка, относительно неизменных пород.

Корреляция содержаний золота и других химических элементов (серебро, мышьяк, медь, сурьма, свинец и ртуть) показана на рис. 3. Содержание ртути на месторождении колеблется от 0,1 до 9,7 ppm и не коррелирует с содержанием золота также как и содержание свинца. Вероятно, первичная ртуть месторождения была потеряна в результате позднего химического выветривания. Корреляция между содержаниями золота и содержаниями серебра, мышьяка, сурьмы и меди имеет достаточно тесную корреляционную связь. Подобные корреляционные зависимости для  $Au \div As$  и  $Au \div Sb$  были получены по образцам керн из рудных интервалов скважин рудника Кьяукпахто. Также были проанализированы содержания цинка, никеля, хрома, и молибдена. Оказалось, что они не превышают кларковые значения или их средние значения в неизменных песчаниках района Мале.

Физические свойства пород и руд месторождения Кьяукпахто обобщены по работам Н.Б. Дортман, С.Н. Кондрашева, Е. М. Филлипова, Г. С. Возженикова, Ю. Н. Бурмистенко и других и приведены в таблицах 3 и 4.

Так, наиболее отличительными физическими свойствами обладают зоны рудоконтролирующих разломов, в которых развиты рассланцеванные аргиллиты. Золоторудный штокверк (окварцеванный песчаник с кварцевыми прожилками и окварцеванная брекчия) отличается по физическим свойствам от вмещающих песчаников: максимально (в 5 раз) по значению пьезоэлектрического модуля.

Таким образом, геологические особенности золоторудного месторождения Кьяукпахто и дифференциация его пород и руд по физическим свойствам являются благоприятными для проведения поисково – разведочных работ геофизическими методами.

По ядерно-физическим свойствам золото и элементы-спутники (мышьяк и сурьма) заметно отличаются от химических элементов вмещающих пород (табл. 4). Также для золота характерно высокое микроскопическое сечение ядерной реакции ( $\gamma, n$ ).

В дополнение к физическим параметрам табл. 4 следует отметить появление изотопа  ${}^{197m}_{79}\text{Au}$ , образующегося за счёт материнского изотопа  ${}^{197}_{79}\text{Au}$  при ядерной реакции неупругого рассеяния гамма-квантов ( $\gamma, \gamma'$ ). Период полураспада  ${}^{197m}_{79}\text{Au}$  равен 7,4 с, а энергия  $\gamma'$ -излучения составляет 279 кэВ.

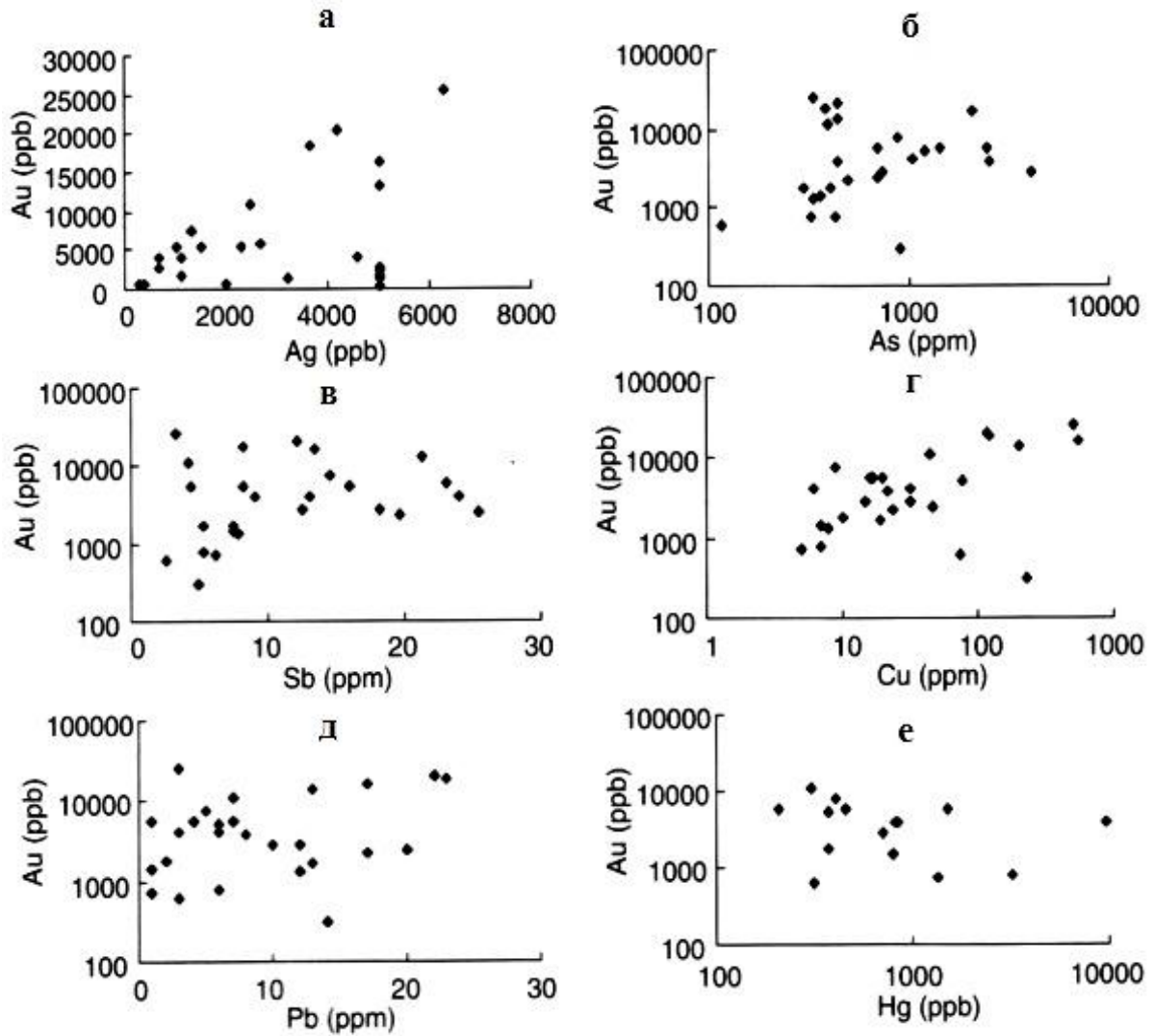


Рис. 3. Коррелограмма содержаний золота и содержаний серебра (а), мышьяка (б), сурьмы (в), меди (г), свинца (д), и ртути (е) по данным химического анализа рудных образцов из карьера месторождения Кьяукпахто (Яй Мьит Шве, 1991)

Таблица 3. Физические свойства пород и руд месторождения золота Кьяукпахто (Со Мин Ту, 2009)

Порода	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , Ом.м	$d \cdot 10^{-15}$ , ед.СИ	$\chi$ , ед.СИ	$v_p$ , км/с	$\lambda$ , Вт/(м.К)	Содержания, %			Th/U
							К	U · 10 <sup>-4</sup>	Th · 10 <sup>-4</sup>	
Песчаник	2,55	5,5 · 10 <sup>2</sup>	0,03	1,3 · 10 <sup>-6,3</sup>	2,65	1,81	1,7	2,9	10,4	3,6
Окварцеван ный песчаник с кварцевыми прожилками	> 2,55	> 5,5 · 10 <sup>2</sup>	0,16	< 10 <sup>-6,3</sup>	> 2,65	> 1,81	< 1,7	< 2,9	< 10,4	< 3,6
Окварцеван ная брекчия	> 2,55	> 5,5 · 10 <sup>2</sup>	0,16	< 10 <sup>-6,3</sup>	> 2,65	> 1,81	< 1,7	< 2,9	< 10,4	< 3,6
Окварцеван ный песчаник	2,35	2,10 <sup>1</sup>	0	1,3 · 10 <sup>-5,5</sup>	1,65	1,32	2,7	4,0	11,5	2,9

Примечание:  $\sigma$  – плотность,  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление,  $d$  – пьезоэлектрический модуль,  $\chi$  – магнитная восприимчивость,  $v_p$  – скорость продольных сейсмических волн,  $\lambda$  – теплопроводность

Таблица 4. Ядерно-физические свойства рудных элементов и элементов вмещающих пород (Со Мин Ту, 2009)

Элемент	Энергетические линии фотонов рентгеновеного излучения, эВ									$\Sigma_T^{\Pi}$ , см <sup>2</sup> /Г	$\sigma_{\max}$ , 10 <sup>-27</sup> см <sup>2</sup>
	К - серия				L - серия						
	$\beta_2$	$\beta_1$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\gamma_1$	$\beta_2$	$\beta_1$	$\alpha_1$	$\alpha_2$		
Au	80165	77968	68794	66980	13379	11582	11439	9711	9625	0,2941 (93,5)	460 (7,9)
As	11863	11725	10530	10507			1317		1282	0,0345 2	90 (10,1)

Sb	30387	29723	26357	26109	4347	4100	3843	3605	3595	0,0281 5	–
Si	–	1832	1740	1739						0,0034 3	–
Ca	–	4012	3691	3688			344	341		0,0066 1	–
K	–	3589	3313	3310						0,0318 6	–

Примечание:  $\Sigma_T^p$ , - макроскопическое сечение поглощения нейтронов тепловых энергий, в скобках указано макроскопическое сечение поглощения нейтронов резонансной энергии  $E_p = 4,94$  эВ;  $\sigma_{max}$  – микроскопическое сечение ядерной реакции  $(\gamma, n)$ , в скобках указана пороговая энергия гамма-квантов в МэВ

Олововольфрамовое месторождение Мочи относится к грейзеновому типу и приурочено к контакту гранитного массива и осадочных пород, представленных песчаниками, сланцами, известняками предположительно карбонового возраста (рис. 4).

Небольшой гранитный плутон, интродуцированный в осадочные породы месторождения Мочи, представляет собой одно из Sn-W интрузивных тел, связанных с бирманским гранитоидным поясом. Гранитный плутон имеет вытянутую овальную форму в направлении приблизительно СЗ-ЮВ.

Дорудные и пострудные разломы закартированы в пределах рудного поля. Пострудные разломы вызвали смещение кварцевых жил с амплитудами от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Месторождение было разведано кварцшлагами на 5 горизонтах. Кварцевые жилы, содержащие олово и вольфрам, расположены в пределах апикальной зоны гранитоида, некоторые из жил проникают непосредственно в примыкающие осадочные породы на небольшие расстояния.

Большинство кварцевых жил имеет северо-восточное простирание ( $6^\circ \div 60^\circ$ ) и падение на запад под углом  $75^\circ \div 80^\circ$ . Максимальная протяженность жил около 600 м.

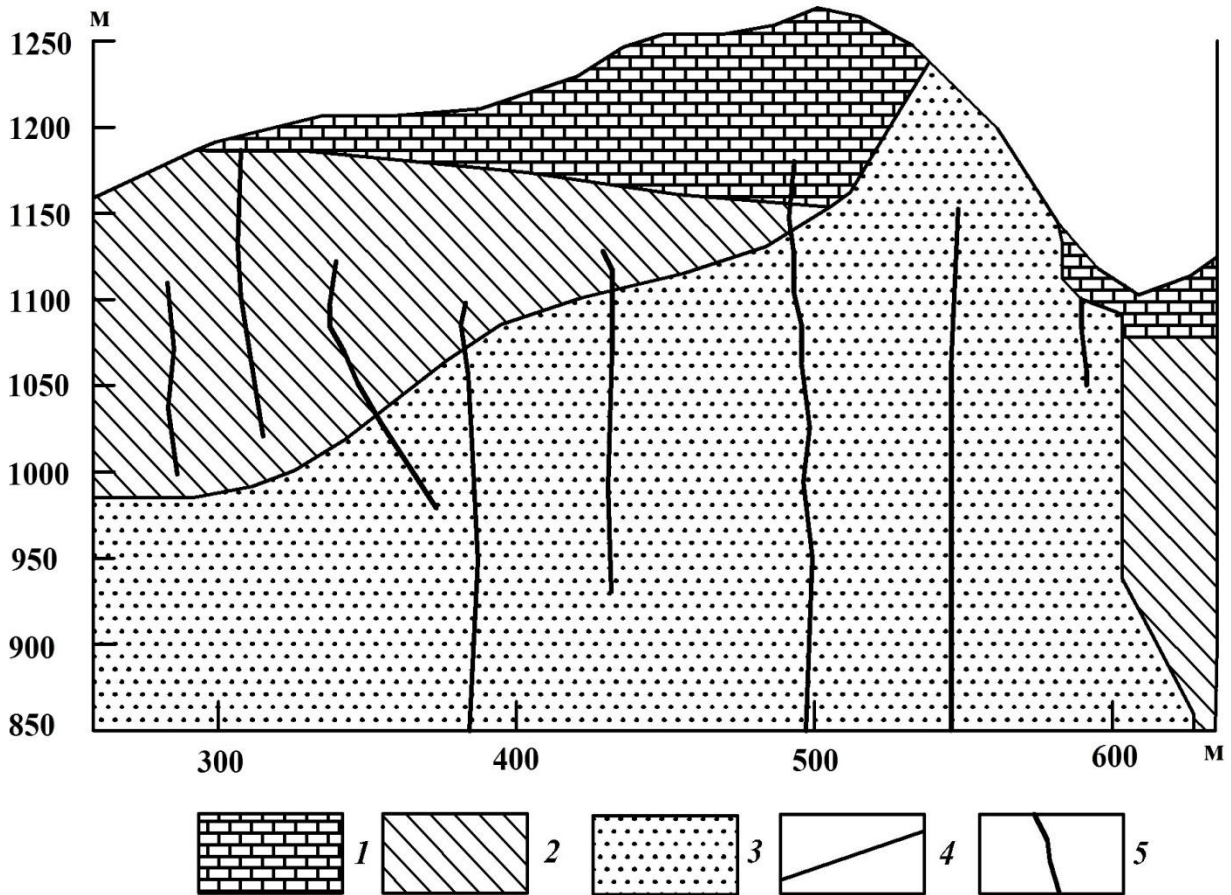


Рис.4. Геологический разрез олово – вольфрамового месторождения Мочи (У Тин Луин, 1965). 1 – известняк, 2 – аспидный сланец и песчаник, 3 – гранит, 4 – геологические границы, 5 – Sn-W кварцевые жилы

Максимальная мощность кварцевых жил достигает 2,5 м при средней около одного метра. Вертикальная минерализованная зона была изучена до глубины 300 м.

В жилах развита друзовая минерализация, представленная в основном касситеритом и вольфрамитом вместе с другими сульфидными минералами (пирит, халькопирит, арсенопирит, молибденит, бисмутин, сфалерит, галенит). Количество сульфидов увеличивается на глубоких горизонтах, в то время как содержание вольфрамита в большинстве рудных жил уменьшается с глубиной.

Степень дифференциации пород и руд месторождения Мочи позволяет сделать заключение, что при поисках подобного типа месторождений аномалии можно ожидать в гравитационном, магнитном, тепловом, сейсмическом и радиационном полях (табл.

5). На стадии разведки и эксплуатации месторождений ведущими геофизическими методами являются гамма-спектрометрический, пьезоэлектрический, в местах скопления сульфидов – метод вызванной поляризации, для определения содержания Sn и W в пробах и in situ – рентгенорадиометрический, гамма-резонансный и нейтронно-активационный (табл. 6).

Таблица 5. Физический свойства пород и руд олововольфрамового месторождения Мочи (Со Мин Ту, 2009)

Порода	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^2$ , Ом.м	$d$ , ед.СИ	$\chi \cdot 10^{-5}$ , ед.СИ	$v_p$ , км/с	$\lambda$ , Вт/(м.К)	$\frac{Th + U}{K}$	$K$ , %
Граниты	2,62	5,5	$0,2 \cdot 10^{-15}$	300	4,2	2,30	15 ÷ 25	30
Сланцы и песчаники	2,70	4,0	$0,03 \cdot 10^{-15}$	125	3,3	1,50	8 ÷ 11	3 ÷ 6
Известняк	2,65	5,0	~0	0.1	3,2	2,37	3 ÷ 4	4 ÷ 5
Sn-W кварцевые жилы	>2,62	>5,5	$1,0 \cdot 10^{-13}$	<300	>4,2	>2,30	60 ÷ 80	5 ÷ 15

Примечание:  $\sigma$  – плотность,  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление,  $d$  – пьезоэлектрический модуль,  $\chi$  – магнитная восприимчивость,  $v_p$  – скорость продольных сейсмических волн,  $\lambda$  – теплопроводность

Таблица 6. Ядерно-физические свойства олова и вольфрама (Со Мин Ту, 2009)

Элемент	Энергетические линии фотонов рентгеновеного излучения, эВ									$\Sigma_T^p$ , см <sup>2</sup> /г
	K-серия				L-серия					
	$\beta_2$	$\beta_1$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\gamma_1$	$\beta_2$	$\beta_1$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	
Sn	29106 (7,02)	28483 (29,7)	25270 (100)	25042 (49,8)	4131	3904	3662	3444	3435	0,02815
W	69090 (4,8)	67233 (18,1)	59310 (100)	57937 (47,0)	11283	9959	9670	8396	8333	0,0628

Примечание: усл. обознач. см. в табл. 4; в скобках указаны относительные интенсивности энергетических линий К-серии рентгеновского излучения в %; гамма-кванты изотопа  ${}_{50}\text{Sn}^{119\text{m}}$  ( $E_\gamma = 23,8$  кэВ) резонансно поглощаются при комнатной температуре только касситеритом ( $\text{SnO}_2$ )

Россыпное олововольфрамовое месторождение Канбаук объединяет по существу два типа Sn-W месторождений: коренное и россыпное. Коренная руда находится в кварцевых жилах мощностью от нескольких сантиметров до 0,5 м и содержит вольфрамит, касситерит и аксессуарные минералы.

Большую часть оловянной руды и в меньшей степени вольфрамита получают из элювиальных и аллювиальных россыпей мощностью до 30 м. Наиболее богатые руды связаны с площадями развития эрозионных наносов.

В области развития элювиального склона вблизи коренного источника вольфрамит составляет до 90 % концентрата. Рудная рыхлая масса, которая в настоящее время добывается, представляет собой потоки обломочного материала, которые осаждались на склоне в виде гравия, песка, глины (рис. 5). В связи с неоднородностью отложений содержание Sn изменяется от нескольких кг/м<sup>3</sup> до нескольких г/м<sup>3</sup>.

Аллювиальные отложения мощностью 20-30 м представлены главным образом глинисто-песчаными отложениями и залегают на углеродистых метаосадочных породах группы Мергуи.

Анализ физических свойств пород россыпного месторождения Канбаук показывает, что методы геофизики могут быть в основном использованы для картирования кровли коренных пород (гравirazведка, сейсморазведка) (табл. 7). Наибольшая дифференциация разреза наблюдается по электрическому сопротивлению, т.е. можно ожидать выделение всех разновидностей пород, если они представлены в той же последовательности, что и в табл. 7.

Ядерно-физические свойства россыпных руд аналогичны коренным, например, месторождения Мочи, поэтому для определения содержащий Sn и W в пробах и в естественном залегании можно рекомендовать те же методы ядерной геофизики, которые были предложены для опробования коренного оруденения.

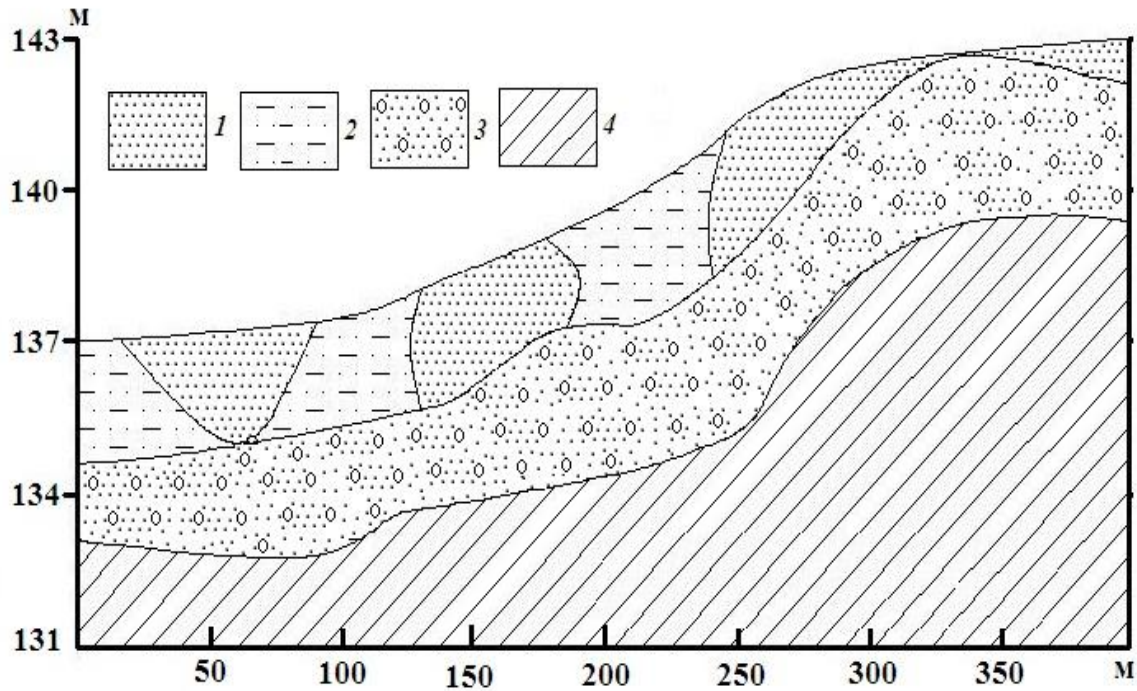


Рис. 5. Геологический разрез россыпного Sn-W месторождения Канбаук. (У Тин Луин, 1965). 1 – пески, 2 – глинисто-песчаные отложения, 3 – пески с гравием, 4 – сланцы

Таблица 7. Физические свойства горных пород месторождения Канбаук (Со Мин Ту, 2009)

Порода	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho \cdot 10^2$ , Ом.м	$\chi \cdot 10^{-6}$ , ед.СИ	$v_p$ , км/с
Песок	1,6	10,0	1,0	0,9
Глинисто-песчаные Отложения	1,7	1,0	10	1,3
Пески с гравием	1,9	10,0	1,0	1,2
Сланец	2,55	5,0	500	3,5

***Третье защищаемое положение.*** Предложены и обоснованы комплексы геофизических методов для поисков и разведки золоторудных и олововольфрамовых

*месторождений типа Кьяукпахто, Мочи и Канбаук в геологических условиях Союза Мьянма, включающие пьезоэлектрический метод, модификации электроразведки, гравиразведку, магниторазведку и методы ядерной геофизики.*

Основными геофизическими методами на стадиях детальных поисков, поисково-оценочных работ и разведки является пьезоэлектрический метод, радоновая съемка и рентгенорадиометрический метод в скважинном и лабораторном вариантах для золоторудных месторождений типа Кьяукпахто.

Пьезоэлектрический метод (ПЭМ) основан на измерении электромагнитных и сейсмических сигналов от геологических объектов, содержащих минералы пьезоэлектрики (кварц, турмалин, сфалерит, нефелин, киноварь, халькопирит и др.).

Теоретически глубина обнаружения пьезоактивного объекта составляет примерно  $(60 \div 70) h$ , где  $h$  – мощность объекта. В реальных условиях глубина обнаружения может значительно меняться, так как величина регистрируемого пьезоэффекта зависит от соотношения пьезоактивности объекта и вмещающих пород, а также существенно – от упругих и электрических свойств вмещающих пород.

Отклонение угла падения жилы от вертикального приводит к асимметрии амплитудного графика (рис. 6, а). Аномальный максимум смещается в сторону излучателя упругих колебаний, а также наблюдается более пологий спад правой ветви максимума  $A_{\Delta U} / A_{ук}$ , т.е. в направлении падения пьезоэлектрического объекта.

Методически наземные работы выполняют, в основном, в модификации поперечного профилирования, которое применяют для поисков неглубоко-залегающих  $(15 \div 20)$  м протяженных жильной формы пьезоэлектрических объектов мощностью более 1 м (рис. 6, б).

Амплитуда пьезоэлектрического сигнала зависит не только от пьезоактивности объекта, но и от величины давления, создаваемого источником упругих волн. Контроль интенсивности давления упругих волн на пьезообъект осуществляют сейсмоприемниками. Для исключения различия в давлениях на один и тот же пьезообъект, что может привести к различиям измеряемых электрических сигналов, вычисляют отношение амплитуды разности потенциалов и упругой волны, т.е.  $A_{\Delta U} / A_{ук}$  (рис. 6. а).

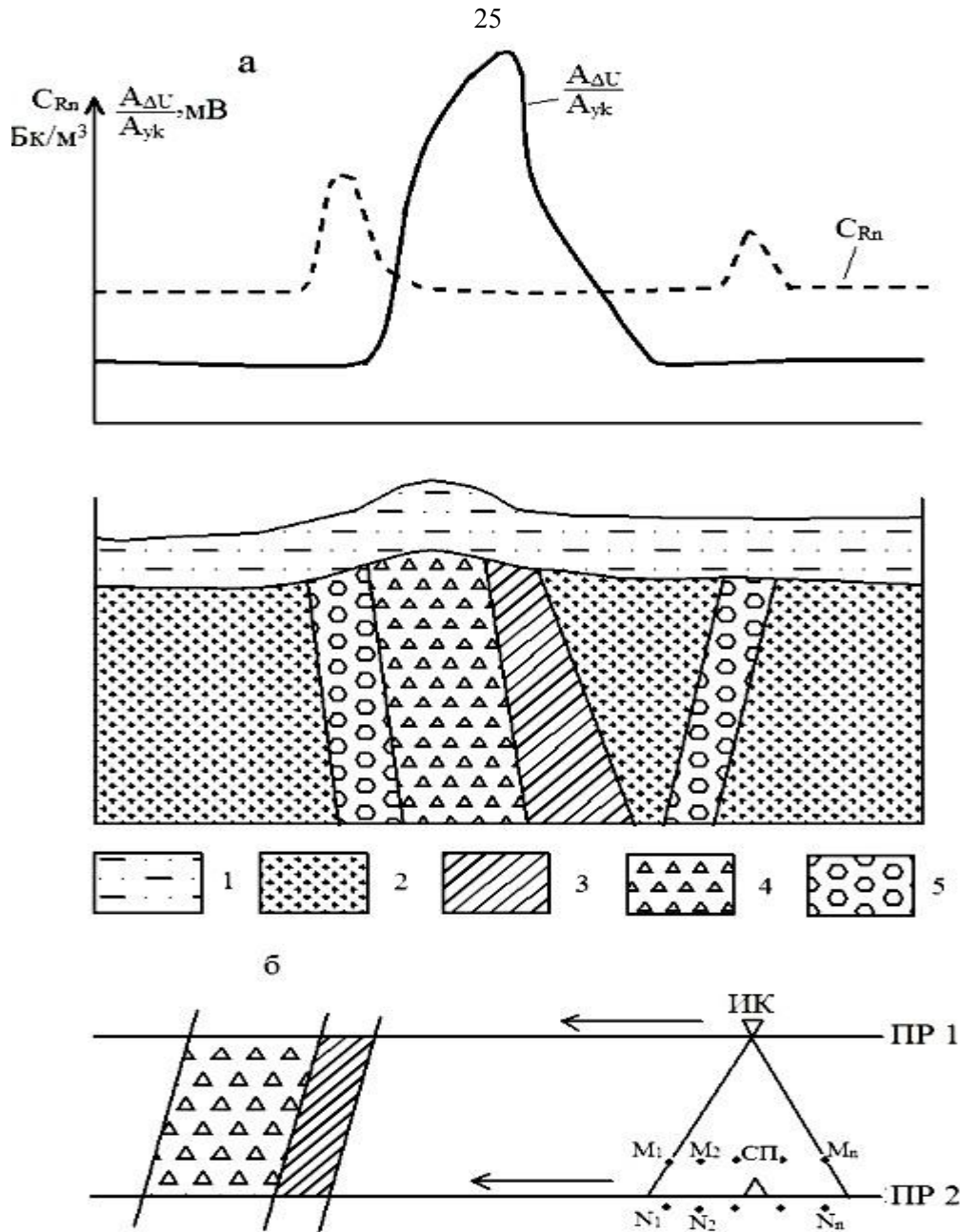


Рис. 6. Геологический разрез и ожидаемые графики отношения амплитуд разности потенциалов  $A_{\Delta U}$  и амплитуд упругих колебаний  $A_{ук}$  пьезоэлектрического метода и объемной активности почвенного радона  $C_{Rn}$  для золоторудных месторождений типа Кьяукпахто (а) и схема реализации поискового варианта пьезоэлектрического метода (б) : 1 – рыхлые отложения, 2 – песчаник, 3 – окварцеванный песчаник с кварцевыми прожилками, 4 – окварцеванная брекчия, 5 – рассланцеванный аргиллит разломов., ИК – источник упругих колебаний, СП – сейсмоприемник,  $M_1N_1 \dots M_nN_n$  – измерительные электроды  $\Delta U$ , ПР – профили, вдоль которых перемещаются ИК и MN (направления перемещения показаны стрелками).

Радоновая съемка основана на изучении распределения объемных активностей радиоактивного газа радона  $^{222}\text{Rn}$  путем отбора проб подпочвенного воздуха и измерения  $\alpha$ -активности радона и его продуктов распада.

Зоны разломов характеризуются повышенной трещиноватостью (пористостью) пород, что приводит к увеличению коэффициента эманирования, наличием глинистых минералов, обладающих высокими сорбционными свойствами, в том числе и  $^{226}\text{Ra}$ , являющегося материнским радионуклидом  $^{222}\text{Rn}$ , а также интенсивными конвективными потоками флюидов, переносящих  $^{222}\text{Rn}$  из глубины к земной поверхности. Указанные факторы приводят к аномальному повышению объемной активности подпочвенного радона ( $C_{\text{Rn}}$ ) в пределах развития пород повышенной трещиноватости (рис. 6, а). Величина аномалий  $C_{\text{Rn}}$  может превышать фоновые значения в  $5\div 10$  раз.

Скважинный вариант рентгенорадиометрического метода недостаточно чувствителен для прямого определения содержания золота, поэтому ниже исследована возможность получения информации о содержании золота по данным о содержании других химических элементов, между которыми и золотом существует прямая корреляционная связь.

Анализ корреляционных зависимостей показывает, что при изменениях содержаний Au примерно от 10 до  $2,5 \cdot 10^3$  ppm содержания Ag меняются от 0 до 6 ppm, As от 100 до  $5\div 7 \cdot 10^3$  ppm, Sb от 2 до  $25\div 2 \cdot 10^2$  ppm и Cu от 5 до  $8 \cdot 10^2$  ppm. Таким образом, для опробования руд в естественном залегании можно использовать рентгенорадиометрический метод в скважинной модификации для определения суммарного содержания As, Sb и Cu с пределами их обнаружения  $20\div 40$  ppm. При этом проводится возбуждение и одновременная регистрация рентгеновского излучения K-серии As, Sb и Cu в энергетическом интервале  $8\div 30$  кэВ.

В лаборатории модификации рентгенорадиометрический метод применяют для экспрессного определения массовых концентраций химических элементов от Na до U, содержащихся в анализируемом образце. В твердых образцах породы или руды или в виде порошка содержание химических элементов определяется в диапазоне от  $10^{-4}$  % до

100 %. В жидких объектах концентрация химических элементов анализируется вплоть до мкг/л ( $10^{-7}$  %).

Указанные чувствительности могут быть достигнуты путём применения энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализатора типа “РеСПЕКТ”, на котором за одно измерение ( $10 \div 600$  секунд) одновременно определяют содержание до 50 химических элементов (Толоконников И. А., РГГРУ, 2000).

В соответствии с физико-геологической моделью олововольфрамового месторождения типа Мочи, изложенной выше, одной из геологических задач на стадии детальных поисков является определение морфологии гранитоида, с которым могут быть связаны олововольфрамовые кварцевые жилы. Изучение морфологии гранитоида предлагается проводить площадной гравитационной съёмкой. Основанием служит дифференциация по плотности гранитов и вмещающих их сланцев, составляющая  $+ 0,8$  г / см<sup>3</sup>.

Расчёт гравитационного поля, создаваемого геологическим разрезом, представленном на рис. 4, был выполнен с использованием двумерной палетки Гамбурцева. Расчет показал, что величина гравитационного эффекта от гранитоида может достигать примерно 5 мГл.

На стадиях разведки олововольфрамовых месторождений типа Мочи одним из ведущих методов является пьезоэлектрический, который можно применять в полевой и скважинной модификациях.

Полевой вариант ПЭМ можно использовать для обнаружения неглубоко залегающих кварцевых жил в кровле гранитоида по технологии, описанной применительно к золоторудному месторождению Кьяукпахто.

В скважинной модификации ПЭМ может решать задачу обнаружения местоположения верхней и нижней кромок субвертикальных кварцевых жил. Реализация этой модификации ПЭМ заключается в том, что в разведочную скважину помещаются плоский пьезокерамический источник упругих колебаний ИК и электроды  $M_1N_1$  и  $M_2N_2$ , измеряющие разность потенциалов  $\Delta U$  пьезоэлектрических сигналов (рис. 7). Пьезоэлектрический источник упругих колебаний позволяет при различных его наклонах (угол  $\theta$ ) осуществлять направленное возбуждение пьезоэлектрического эффе-

кта в определенной области кварцевых жил  $K_1$  и  $K_2$ .

Положение кромок кварцевых жил  $K_1$  и  $K_2$  определяют по различной крутизне пьезоэлектрических годографов (рис. 7) и резкому уменьшению  $\Delta U$  электромагнитного поля. Этот эффект обусловлен тем, что упругие волны от ИК, направленные под углами  $\theta_1 < \theta_2$  и  $\theta_6 > \theta_5$ , не встретят пьезообъект и сформируют лишь фоновый пьезосигнал.

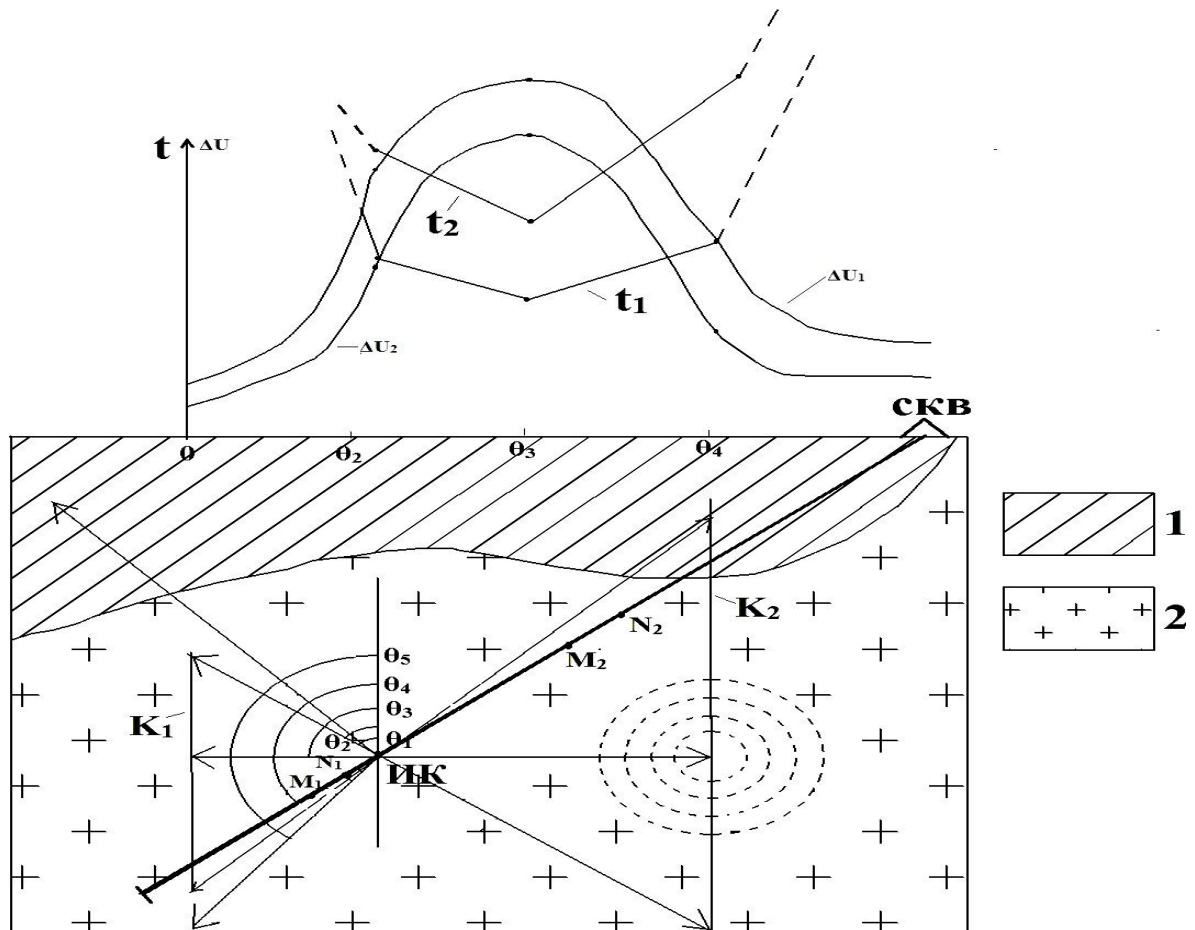


Рис. 7. Физико-геологическая модель олововольфрамового месторождения типа Мочи, пьезоэлектрические годографы ( $t_1$  и  $t_2$ ) и разности потенциалов  $\Delta U_1$  и  $\Delta U_2$  пьезоэлектрических сигналов, полученные по разведочной скважине, вскрывшей две субвертикальные кварцевые жилы ( $K_1$  и  $K_2$ ): 1 – сланцы и песчаник, 2 – гранит, ИК – источник упругих колебаний,  $M_1N_1$  и  $M_2N_2$  – электроды для измерения  $\Delta U$  пьезоэлектрических сигналов,  $\theta$  – зенитный угол направления распространения упругих колебаний, которое показано стрелками, concentric circles – распространение пьезоэлектрического сигнала от области воздействия упругой волны на кварцевую жилу.

Определение содержания вольфрама в естественном залегании (в скважинах и горных выработках) и в пробах (керне) проводят соответствующими модификациями рентгенорадиометрического метода, описанного выше.

Определение содержания касситерита  $\text{SnO}_2$  целесообразно проводить гамма-резонансным методом, так как резонансное поглощение  $\gamma$ -квантов при комнатной температуре наблюдается только на  $\text{SnO}_2$ . При этом используется аппаратура для анализа порошковых проб в геометрии просвечивания, а для опробования руд в естественном залегании – по рассеянному излучению (МАК – 1).

Для расчленения геологического разреза россыпных месторождений олова и вольфрама типа Канбаук можно использовать комплекс методов, состоящий из ведущего метода (вертикального электрического зонтирования), сейсморазведки в модификации преломленных волн и гравиразведки.

### **Заключение**

Основные результаты исследований по теме диссертации сформулированы в виде следующих выводов:

1.Обобщена информация по литолого-структурным особенностям территории Союза Мьянма, в том числе по золоторудным и олововольфрамовым месторождениям.

2.Сформулированы понятия физико-геологической модели, физических свойств горных пород, нормального и аномального геофизических полей. Выполнена классификация типов физико-геологических моделей.

3.Обобщен опыт применения геофизических методов для поисков и разведки золоторудных и олововольфрамовых месторождений на территориях Российской Федерации и Союза Мьянма.

4. Создана физико-геологическая модель коренного золоторудного месторождения Кьяукпахто и на ее основе предложен комплекс геофизических методов для поисков и разведки золоторудных месторождений подобного типа.

5.Составлены физико-геологические модели олововольфрамовых месторождений коренного типа Мочи и россыпного типа Канбаук и для каждого из них предложен комплекс геофизических методов.

**Список опубликованных работ по теме диссертации**

1. Со Мин Ту. «Полезные ископаемые Союза Мьянмы» // V международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых (Молодые – наукам о земле), доклады , Москва, 2010, стр. 22.
2. В. М. Бондаренко, Со Мин Ту. «Физико-геологические модели золоторудных и олововольфрамовых месторождений Союза Мьянма». Изв. вузов “Геол. и развед.” N. 3, 2010, с. 27 – 32.